

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

AC

(11)Publication number : 2001-166171

(43)Date of publication of application : 22.06.2001

(51)Int.Cl. G02B 6/16

(21)Application number : 11-353262

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 13.12.1999

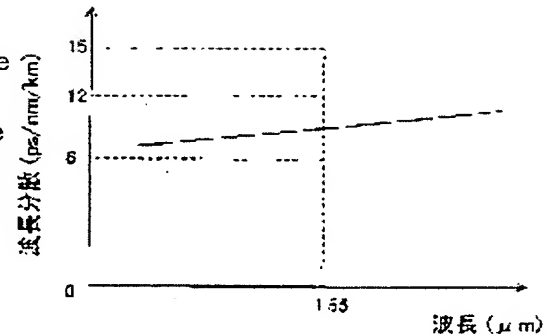
(72)Inventor : KATO TAKATOSHI  
ONISHI MASASHI  
KUBO YUJI

## (54) OPTICAL FIBER

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical fiber which is capable of sufficiently suppressing the generation of four light wave mixing and can make a signal light wavelength band wider.

SOLUTION: This optical fiber is 8 to 15 ps/nm/km (more preferably 8 to 12 ps/nm/km) in the absolute value of wavelength dispersion at a wavelength 1.55  $\mu\text{m}$  and is  $\leq 0.05$  ps/nm<sup>2</sup>/km (more preferably  $\leq 0.03$  ps/nm<sup>2</sup>/km) in the absolute value of dispersion slope at a wavelength 1.55  $\mu\text{m}$ . More adequately the absolute value of the wavelength dispersion at a wavelength band 1.45 to 1.65  $\mu\text{m}$  is  $\geq 5$  ps/nm/km, the effective sectional area at a wavelength 1.55  $\mu\text{m}$  is  $\geq 45 \mu\text{m}^2$  (more preferably  $\geq 50 \mu\text{m}^2$ ) and the 2 m cutoff wavelength is  $\geq 1.40 \mu\text{m}$  (more preferably  $\geq 1.60 \mu\text{m}$ ).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.04.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

# BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-166171

(P2001-166171A)

(43) 公開日 平成13年6月22日 (2001.6.22)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/16

識別記号

F I

G 0 2 B 6/16

テ-マコ-ト\* (参考)

2 H 0 5 0

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-353262

(22) 出願日 平成11年12月13日 (1999. 12. 13)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 加藤 考利

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 大西 正志

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

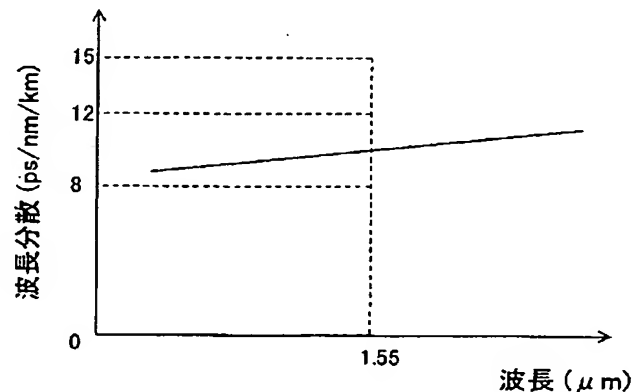
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 四光波混合の発生を十分に抑圧することができ、且つ、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる光ファイバを提供する。

【解決手段】 本発明に係る光ファイバは、波長1.55  $\mu$ mにおける波長分散の絶対値が8~15 ps/nm/km (より好適には8~12 ps/nm/km) であり、波長1.55  $\mu$ mにおける分散スロープの絶対値が0.05 ps/nm<sup>2</sup>/km以下 (より好適には0.03 ps/nm<sup>2</sup>/km以下) である。また、好適には、波長帯域1.45~1.65  $\mu$ mにおいて波長分散の絶対値が5 ps/nm/km以上であり、波長1.55  $\mu$ mにおける実効断面積が45  $\mu$ m<sup>2</sup>以上 (より好適には50  $\mu$ m<sup>2</sup>以上) であり、2mカットオフ波長が1.40  $\mu$ m以上 (より好適には1.60  $\mu$ m以上) である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長1.55 $\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が8~15 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が0.05 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】 波長1.55 $\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が8~12 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項3】 波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が0.03 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項4】 波長帯域1.45~1.65 $\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が5 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項5】 波長1.55 $\mu\text{m}$ における実効断面積が45 $\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項6】 波長1.55 $\mu\text{m}$ における実効断面積が50 $\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする請求項5記載の光ファイバ。

【請求項7】 2mカットオフ波長が1.40 $\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項8】 2mカットオフ波長が1.60 $\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項9】 光軸中心を含み第1屈折率を有する第1コア領域と、前記第1コア領域を取り囲み前記第1屈折率より小さい第2屈折率を有する第2コア領域と、前記第2コア領域を取り囲み前記第2屈折率より大きい第3屈折率を有する第3コア領域と、前記第3コア領域を取り囲み前記第3屈折率より小さい第4屈折率を有するクラッド領域とを有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項10】 前記クラッド領域は、前記第3コア領域を取り囲む内クラッド領域と、前記内クラッド領域を取り囲む外クラッド領域とを含み、前記内クラッド領域の屈折率より前記外クラッド領域の屈折率が大きいことを特徴とする請求項9記載の光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重伝送システムにおける光伝送路等として用いるのに好適な光ファイバに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)伝送システムは、波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯の多波長の信号光を用いて光通信を行うことで、高速・大容量の情報を伝送することができる。このようなWDM伝送システムでは、非線形光学現象(特に四光波混合)の発生を抑圧する為に光伝送路における波長分散の絶対値を大きくするとともに、信号光波長帯域の広帯域

化を図る為に光伝送路における分散スロープの絶対値を小さくすることが重要である。

【0003】WDM伝送システムにおける光伝送路として用いられる光ファイバの1つに、ITUのG652規格で規格化されているシングルモード光ファイバがある。このシングルモード光ファイバは、波長1.3 $\mu\text{m}$ 付近に零分散波長を有しており、波長1.55 $\mu\text{m}$ では波長分散が17 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度であって比較的大きいことから、四光波混合の発生を十分に抑圧することができない。しかし、このシングルモード光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ で分散スロープが0.056 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 程度であって比較的大きいことから、多波長の信号光それぞれの波長分散の差が大きい。

【0004】また、波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散スロープを低減した分散フラット光ファイバが提案されている(例えば、米国特許第5,684,909号明細書や、欧州特許出願公報EP 0 883 002 A1を参照)。この分散フラット光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ で分散スロープが0.05 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であって比較的小さい点では好適であるが、波長1.55 $\mu\text{m}$ は波長分散が8 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度であって比較的小さいことから、四光波混合の発生を十分に抑圧することができない。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ で波長分散の絶対値が小さいか或いは分散スロープの絶対値が大きいものであって、WDM伝送システムの光伝送路として用いると、四光波混合の発生を十分に抑圧することができないか、或いは、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができない。

【0006】本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、四光波混合の発生を十分に抑圧することができ、且つ、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる光ファイバを提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が8~15 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が0.05 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。この光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいので、四光波混合の発生を抑制することができ、分散スロープの絶対値が小さいので、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

【0008】また、本発明に係る光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が8~12 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であることを特徴とする。この場合には、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化を抑制する上で好適である。

【0009】また、本発明に係る光ファイバは、波長

1.  $55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。この場合には、信号光波長帯域の広帯域化を図る上で更に好適である。

【0010】また、本発明に係る光ファイバは、波長帯域 $1.45\sim 1.65\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であることを特徴とする。広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができる。大容量の光通信を行うことができる。

【0011】また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が $45\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする。特に、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が $50\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする。この場合には、実効断面積が大きいので、四光波混合の発生を抑制する上で好適である。

【0012】また、本発明に係る光ファイバは、 $2\text{m}$ カットオフ波長が $1.40\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。特に、 $2\text{m}$ カットオフ波長が $1.60\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。この場合には、信号光波長よりカットオフ波長の方が長い、数百 $\text{m}$ 以上の伝送をする場合、カットオフ波長の距離依存性を考慮すると、実用上問題がなく、信号光波長帯域でシングルモード条件を満たしている。また、曲げ損失が小さく、曲げに強く、ケーブル化でのロス増を抑えるのに好適である。

【0013】また、本発明に係る光ファイバは、光軸中心を含み第1屈折率を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み第1屈折率より小さい第2屈折率を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み第2屈折率より大きい第3屈折率を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み第3屈折率より小さい第4屈折率を有するクラッド領域とを有することを特徴とする。また、クラッド領域は、第3コア領域を取り囲む内クラッド領域と、内クラッド領域を取り囲む外クラッド領域とを含み、内クラッド領域の屈折率より外クラッド領域の屈折率が大きいことを特徴とする。これら何れの場合にも、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値を $8\sim 15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ とし、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値を $0.05\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下とする上で好適である。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0015】図1は、本実施形態に係る光ファイバを説明する図である。この図に示すように、本実施形態に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。したがって、この光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいので、四光波混合の発生を抑制することができる。ただし、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が大きすぎると、ビットレート $40\text{Gb}/\text{s}$ 以上の光伝送では、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化が問題となるので、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であるのが、より好適である。

【0016】本実施形態に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であり、より好適には、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。したがって、この光ファイバは、分散スロープの絶対値が小さいので、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

【0017】本実施形態に係る光ファイバは、波長帯域 $1.45\sim 1.65\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であるのが好適である。このように、Sバンド（波長帯域 $1.45\sim 1.53\mu\text{m}$ ）、Cバンド（波長帯域 $1.53\sim 1.56\mu\text{m}$ ）およびLバンド（波長帯域 $1.56\sim 1.65\mu\text{m}$ ）を含む広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

【0018】本実施形態に係る光ファイバは、四光波混合の発生を抑制する上では、実効断面積が大きいのが好適である。したがって、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積は、 $45\mu\text{m}^2$ 以上であるのが好適であり、 $50\mu\text{m}^2$ 以上であるのがより好適である。

【0019】また、本実施形態に係る光ファイバは、信号光波長帯域でシングルモードであるのが好適である。また、曲げ損失が小さく、曲げに強いことも重要である。したがって、 $2\text{m}$ カットオフ波長は、 $1.40\mu\text{m}$ 以上であるのが好適であり、 $1.60\mu\text{m}$ 以上であるのがより好適である。また、カットオフ波長の距離依存性を考慮すれば、 $2\text{m}$ カットオフ波長は、信号光波長より長い $2.0\mu\text{m}$ 程度であってもよい。ここで、 $2\text{m}$ カットオフ波長は、長さ $2\text{m}$ の光ファイバを半径 $140\text{mm}$ でゆるく1回巻き付けた状態での $\text{LP}_{11}$ モードのカットオフ波長として定義される。

【0020】図2は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な1例を示す図である。この光ファイバは、光軸中心を含み屈折率 $n_1$ を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み屈折率 $n_2$ を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み屈折率 $n_3$ を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み屈折率 $n_4$ を有するクラッド領域とを有する。各屈折率の大小関係は、

$$n_1 > n_2 \quad \dots (1a)$$

$$n_2 < n_3 \quad \dots (1b)$$

$$n_3 > n_4 \quad \dots (1c)$$

である。ここで、第1コア領域の外径を $2a$ と表し、第2コア領域の外径を $2b$ と表し、第3コア領域の外径を $2c$ と表す。クラッド領域の屈折率 $n_4$ を基準として、第1コア領域の比屈折率差を $\Delta n_1$ と表し、第2コア領域の比屈折率差を $\Delta n_2$ と表し、第3コア領域の比屈折率差を $\Delta n_3$ と表す。

【0021】図3は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な他の例を示す図である。光軸中心を含み屈折率 $n_1$ を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み屈折率 $n_2$ を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み屈折率 $n_3$ を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み屈折率 $n_4$ を有する内クラッド領域と、内クラッド領域を取り囲み屈折率 $n_5$ を有する内クラッド領域とを有する。各屈折率の大小関係は、

$$n_1 > n_2 \quad \dots(2a)$$

$$n_2 < n_3 \quad \dots(2b)$$

$$n_3 > n_4 \quad \dots(2c)$$

$$n_4 < n_5 \quad \dots(2d)$$

である。ここで、第1コア領域の外径を $2a$ と表し、第2コア領域の外径を $2b$ と表し、第3コア領域の外径を $2c$ と表し、内クラッド領域の外径を $2d$ と表す。外クラッド領域の屈折率 $n_5$ を基準として、第1コア領域の比屈折率差を $\Delta n_1$ と表し、第2コア領域の比屈折率差を $\Delta n_2$ と表し、第3コア領域の比屈折率差を $\Delta n_3$ と表し、内クラッド領域の比屈折率差を $\Delta n_4$ と表す。

【0022】次に、本実施形態に係る光ファイバの実施例について説明する。図4は、各実施例の光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【0023】実施例1の光ファイバは、図2に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は0.00%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.13%である。第1コア領域の外径 $2a$ は7.0 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は20.8 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は32.0 $\mu\text{m}$ である。

【0024】この実施例1の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1329nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で8.2ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で13.5ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で18.0ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.048ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は63.4 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.003dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.78 $\mu\text{m}$ である。

【0025】実施例2の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.40%であり、第2コア領域

の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.05%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.15%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.05%である。第1コア領域の外径 $2a$ は7.6 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は16.3 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は25.5 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は38.0 $\mu\text{m}$ である。

【0026】この実施例2の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1330nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で7.5ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で12.5ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で17.1ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.047ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は69.2 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.02dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.43 $\mu\text{m}$ である。

【0027】実施例3の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.45%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.10%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.19%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.10%である。第1コア領域の外径 $2a$ は6.7 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は18.9 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は29.5 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は44.0 $\mu\text{m}$ である。

【0028】この実施例3の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1331nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で6.8ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で10.5ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で12.6ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.027ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は54.1 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.05dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.73 $\mu\text{m}$ である。

【0029】実施例4の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.46%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.20%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.26%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.20%である。第1コア領域の外径 $2a$ は6.4 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は22.7 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は32.4 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は48.4 $\mu\text{m}$ である。

【0030】この実施例4の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1316nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で8.4ps/nm/kmであ

10

20

30

40

50

り、波長1.55 $\mu\text{m}$ で11.9ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で10.6ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.015ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は45.5 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.47dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.82 $\mu\text{m}$ である。

【0031】実施例5の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.08%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.18%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.08%である。第1コア領域の外径2aは7.0 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径2bは18.7 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径2cは29.2 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径2dは43.6 $\mu\text{m}$ である。

【0032】この実施例5の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1327nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で7.4ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で11.6ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で14.5ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.034ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は57.3 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.02dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.71 $\mu\text{m}$ である。

【0033】実施例6の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.10%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.18%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.10%である。第1コア領域の外径2aは6.8 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径2bは17.8 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径2cは29.9 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径2dは44.6 $\mu\text{m}$ である。

【0034】この実施例6の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1339nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で5.6ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で8.4ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で9.7ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.018ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は57.2 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.07dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.85 $\mu\text{m}$ である。

【0035】実施例7の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.58%であり、第2コア領域

の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.10%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.22%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.10%である。第1コア領域の外径2aは5.1 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径2bは14.0 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径2cは23.5 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径2dは35.0 $\mu\text{m}$ である。

【0036】この実施例7の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1700nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で-13.4ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で-12.4ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で-5.6ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.037ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は55.2 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.15dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.72 $\mu\text{m}$ である。

【0037】実施例8の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.10%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.16%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.10%である。第1コア領域の外径2aは6.8 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径2bは17.8 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径2cは26.8 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径2dは44.6 $\mu\text{m}$ である。

【0038】この実施例8の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1353nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で6.6ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で10.3ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で12.7ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.029ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は55.8 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.06dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.63 $\mu\text{m}$ である。

【0039】実施例1～8の何れの光ファイバも、波長1.55 $\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が8～15ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が0.05ps/nm<sup>2</sup>/km以下であり、波長帯域1.45～1.65 $\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が5ps/nm/km以上であり、波長1.55 $\mu\text{m}$ における実効断面積が45 $\mu\text{m}^2$ 以上であり、また、2mカットオフ波長が1.40 $\mu\text{m}$ 以上である。特に、実施例3～6および12それぞれの光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が8～12ps/nm/kmである。実施例3, 4, 6および8それぞれの光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が0.03ps/nm<sup>2</sup>/km以下で

ある。実施例1～3および5～8それぞれの光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が $50\mu\text{m}^2$ 以上である。実施例1および3～8それぞれの光ファイバは、2mカットオフ波長が $1.60\mu\text{m}$ 以上である。

【0040】図5は、実施例3および7それぞれの光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。実施例3および7それぞれの光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散が互いに異符号である。これらの光ファイバを組み合わせることで、全体の平均波長分散の絶対値を小さくすることができ、累積分散量の絶対値を小さくすることができる。また、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散が互いに異符号であって分散スロープも互いに異符号である2本の本実施形態に係る光ファイバを組み合わせることで、広い波長帯域において、全体の平均波長分散の絶対値を小さくすることができ、累積分散量の絶対値を小さくすることができる。

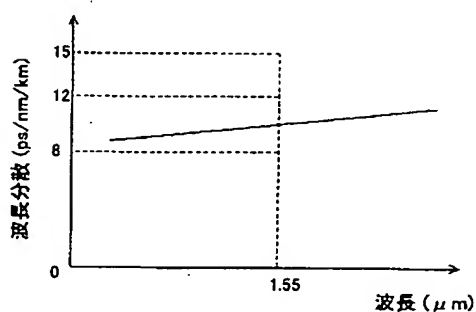
【0041】本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、本実施形態に係る光ファイバは、実施例1～8のものに限られることなく、他の設計も可能である。

【0042】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。このことから、本発明に係る光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいため四光波混合の発生を抑制することができ、分散スロープの絶対値が小さいので信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

【0043】また、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散

【図1】



の絶対値が $8\sim 12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である場合には、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化を抑制する上で好適である。波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である場合には、信号光波長帯域の広帯域化を図る上で更に好適である。波長帯域 $1.45\sim 1.65\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上である場合には、広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいため、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

【0044】また、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が $45\mu\text{m}^2$ 以上（より好適には $50\mu\text{m}^2$ 以上）である場合には、実効断面積が大きいため、四光波混合の発生を抑制する上で好適である。2mカットオフ波長が $1.40\mu\text{m}$ 以上（より好適には $1.60\mu\text{m}$ 以上）である場合には、信号光波長帯域でシングルモード条件を満たし、また、曲げ損失が小さく、曲げに強いので、ケーブル化の際のロス増を抑えるのに好適である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施形態に係る光ファイバを説明する図である。

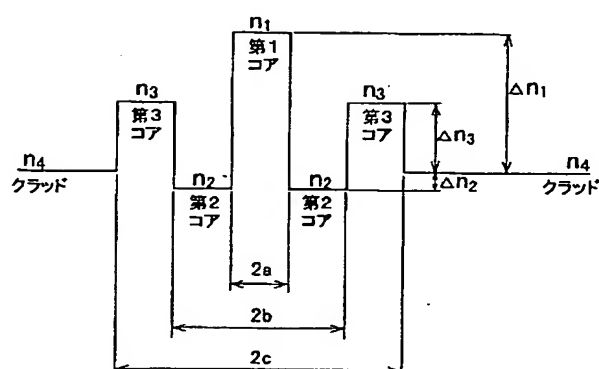
【図2】本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な1例を示す図である。

【図3】本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な他の例を示す図である。

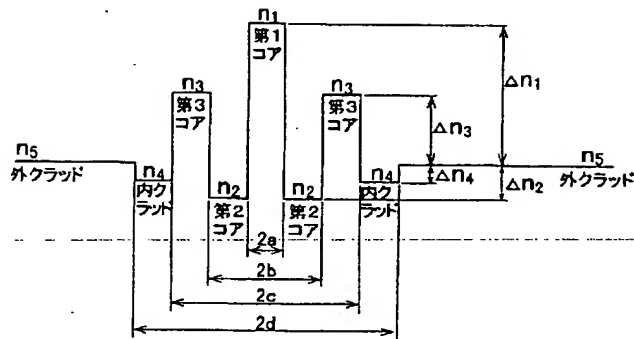
【図4】各実施例の光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図5】各実施例の光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。

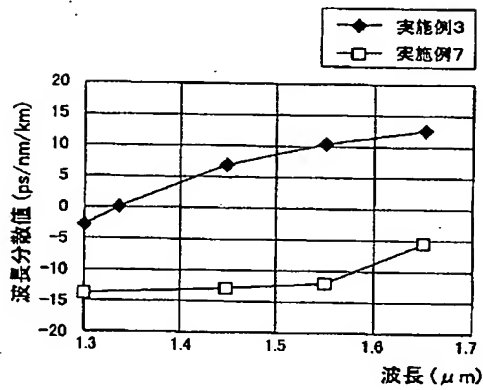
【図2】



【図3】



【図5】



【図4】

| 実施例                                | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta n_1$ (%)                   | 0.44  | 0.40  | 0.45  | 0.46  | 0.44  | 0.44  | 0.58  | 0.44  |
| $\Delta n_2$ (%)                   | 0.00  | -0.05 | -0.10 | -0.20 | -0.08 | -0.10 | -0.10 | -0.10 |
| $\Delta n_3$ (%)                   | 0.13  | 0.15  | 0.19  | 0.26  | 0.18  | 0.18  | 0.22  | 0.16  |
| $\Delta n_4$ (%)                   | —     | -0.05 | -0.10 | -0.20 | -0.08 | -0.10 | -0.10 | -0.10 |
| 2a (μm)                            | 7.0   | 7.6   | 6.7   | 6.4   | 7.0   | 6.8   | 5.1   | 6.8   |
| 2b (μm)                            | 20.8  | 16.3  | 18.9  | 22.7  | 18.7  | 17.8  | 14.0  | 17.8  |
| 2c (μm)                            | 32.0  | 25.5  | 29.5  | 32.4  | 29.2  | 29.9  | 23.5  | 26.8  |
| 2d (μm)                            | —     | 38.0  | 44.0  | 48.4  | 43.8  | 44.6  | 35.0  | 44.6  |
| 零分散波長 (nm)                         | 1329  | 1330  | 1331  | 1316  | 1327  | 1339  | 1700  | 1333  |
| 波長分散 (ps/nm/km)                    |       |       |       |       |       |       |       |       |
| @ 1.45 μm                          | 8.2   | 7.5   | 6.8   | 8.4   | 7.4   | 5.6   | -13.4 | 6.6   |
| @ 1.55 μm                          | 13.5  | 12.5  | 10.5  | 11.9  | 11.6  | 8.4   | -12.4 | 10.3  |
| @ 1.65 μm                          | 18.0  | 17.1  | 12.6  | 10.6  | 14.5  | 9.7   | -5.6  | 12.7  |
| 分散スロープ                             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| @ 1.55 μm (ps/nm <sup>2</sup> /km) | 0.048 | 0.047 | 0.027 | 0.015 | 0.034 | 0.018 | 0.037 | 0.029 |
| 実効断面積                              |       |       |       |       |       |       |       |       |
| @ 1.55 μm (μm <sup>2</sup> )       | 63.4  | 69.2  | 54.1  | 45.5  | 57.3  | 57.2  | 55.2  | 55.8  |
| 32nmφ 曲げ損失                         |       |       |       |       |       |       |       |       |
| @ 1.55 μm (dB/ターン)                 | 0.003 | 0.02  | 0.05  | 0.47  | 0.02  | 0.07  | 0.15  | 0.08  |
| 2πカットオフ波長 (μm)                     | 1.78  | 1.43  | 1.73  | 1.82  | 1.71  | 1.85  | 1.72  | 1.63  |

フロントページの続き

(72)発明者 久保 祐二

 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内

 Fターム(参考) 2H050 AC14 AC15 AC28 AC71 AC73  
 AC75 AC76 AD00 AD01